



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL ELÉCTRICO

Título del proyecto:

PLUVIÓMETRO DE CAZOLETAS

Xabier Artajo Iparraguirre

Vicente Senosiain Miquélez

Pamplona, 16-9-2010

INDICE

| | |
|--|----|
| 1.Introducción..... | 2 |
| 2.Antecedentes y objetivos..... | 3 |
| Pluviómetro de pesada..... | 4 |
| Pluviómetro de flotador..... | 5 |
| Pluviómetro de balancín..... | 6 |
| Objetivos..... | 6 |
| 3.Características pluviómetro a construir..... | 7 |
| 4.Precipitación en la Comarca de Pamplona..... | 8 |
| 5.Cálculos mecánicos..... | 9 |
| Cálculo peso del agua..... | 10 |
| Cálculo volumen del agua..... | 11 |
| Cálculo piezas balancín..... | 12 |
| Momento de fuerzas en el balancín..... | 14 |
| 6.Cálculo dispositivo optoelectrónico..... | 16 |
| Cálculo de la resistencia de limitación del led..... | 16 |
| Cálculo circuito fotodiodo..... | 17 |
| 7.Desarrollo del trabajo..... | 20 |
| 8.Análisis de resultados..... | 24 |
| Emplazamiento pluviómetro..... | 24 |
| Mediciones en el laboratorio..... | 29 |
| Mediciones en un jardín con un aspersor..... | 32 |
| 9.Conclusiones..... | 33 |

1 Introducción.

A lo largo del último siglo el estudio de los fenómenos hidrológicos ha sido motivo de preocupación del ser humano, no sólo con objeto de conocer en el medio en que vivimos, sino como parte fundamental en el desarrollo socioeconómico de un país.

Casi todos los sectores de la economía de un país utilizan información hidrológica en la planificación, el desarrollo y los objetivos prácticos.

Ante la creciente preocupación por el cambio climático global y el impacto del desarrollo urbano en el medio ambiente, es cada vez mayor el énfasis puesto en la demanda de una información hidrológica fiable que sirva para establecer un desarrollo y una gestión sostenible de los recursos hídricos.

El agua es indispensable para la vida y un peligro potencial para la misma, todos somos conscientes del peligro de las inundaciones y las sequías, por lo que el conocimiento hidrológico es inestimable para el bienestar del ser humano. Una de las variables a estudiar en la hidrología son la precipitaciones, tanto sólidas como líquidas.

En el presente proyecto se detallarán las distintas técnicas que se utilizan en la medición de las precipitaciones. Y se explicarán las distintas soluciones técnicas adoptadas en el diseño y construcción del pluviómetro de cazoletas.

2 Antecedentes y Objetivos.

La O.M.M. (Organización Meteorológica Mundial) clasifica en tres tipos los pluviómetros para precipitaciones, a saber: de pesada, de cazoletas, y de flotador. El instrumento que sirve para medir todo tipo de precipitación es el que se basa en el principio del peso, los otros dos solo sirven para precipitaciones líquidas.

Además de los pluviómetros anteriormente mencionados también existen técnicas más complejas, como el uso del radar Doppler o observaciones por satélite.

El radar Doppler se utiliza para suministrar datos que puedan resultar útiles para difundir alertas tempranas de fenómenos violentos como tornados y tormentas. También se han desarrollado técnicas para calcular las precipitaciones horarias, diarias y mensuales a partir de imágenes captadas por satélites geoestacionario o de órbita polar.

Cualquiera que sea el modo de funcionamiento del registrador de precipitaciones (elevación de un flotador, movimiento basculante de una cubeta u otro) la manera de registrar debe facilitar la transformación de la información en que puedan almacenarse y analizarse posteriormente.

El medio más sencillo de hacerlo consiste en desplazar una banda cronológica, con un aparato de relojería a cuerda o eléctrico, y que una plumilla registre en la banda los movimientos del flotador o del dispositivo de báscula. Hay dos tipos principales de banda: de banda de tambor, sujeta a un tambor que efectúa un giro diario, un giro semanal o un giro en el período que se desee y la banda de rodillos, que es arrastrada por los rodillos y pasa delante de la plumilla. Al alterar de la velocidad de arrastre de la banda, el registrador puede funcionar durante períodos de una semana a un mes e incluso períodos más largos.

La escala de tiempo de la banda de rodillos puede ser lo bastante amplia como para permitir calcular con facilidad la intensidad.

Los datos que serán registrados también pueden ser convertidos a una forma digital, por vía mecánica o electrónica, para ser registrados como un conjunto de puntos perforados en una banda de papel a intervalos regulares, para su posterior lectura y procesamiento automático. Se utilizan asimismo registradores de banda magnética y estado sólido.

El movimiento del flotador, la cazoleta o la balanza también se puede transformar en una señal eléctrica transmisible, por radio o cable, a un receptor alejado donde pueden elaborarse registro de los datos recogidos por numerosos pluviómetros con equipos de transmisión de datos.

A continuación se exponen los principios de funcionamiento de cada pluviómetro:

Pluviómetro de pesada.

En este instrumento se registra en forma continua, por medio de un mecanismo de resorte o de un sistema de pesas, el peso del recipiente y el de la precipitación que se acumula en él. De este modo, las precipitaciones se registran a medida que se recogen.

Este tipo de pluviómetro carece por lo general de un dispositivo de autovaciado, pero por medio de un sistema de palancas es posible hacer que la pluma pase por el gráfico todas las veces que sea necesario.

Estos pluviómetros deben diseñarse de forma que se impidan pérdidas excesivas por evaporación, la cual se puede reducir añadiendo en el recipiente una cantidad suficiente de aceite u otra sustancia que evite la evaporación al formar una película sobre la superficie del agua. Las dificultades producidas por oscilación de la balanza en caso de fuertes vientos se pueden disminuir con un mecanismo amortiguador por aceite.

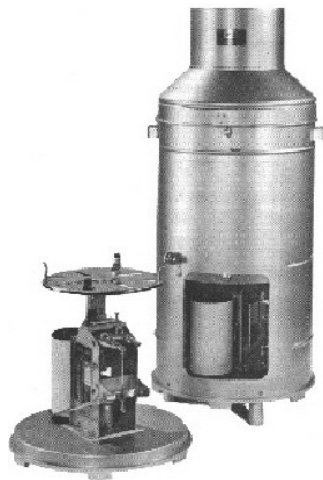


Fig. 1 Pluviómetro de pesada.

Este tipo de instrumento sirve sobre todo para registrar las precipitaciones de nieve, granizo y aguanieve. Puede registrar las precipitaciones sólidas sin tener que esperar a que éstas se derritan.

Pluviómetro de flotador.

En este tipo de instrumento, la lluvia recogida pasa a un recipiente que contiene un flotador liviano; el movimiento vertical del flotador, al subir el nivel del agua, se transmite por un mecanismo apropiado a la pluma que traza el diagrama. Si se ajustan las dimensiones del embudo receptor, del flotador y del recipiente que lo contiene, se pueden obtener sobre el diagrama todas las escalas que se se deseen.

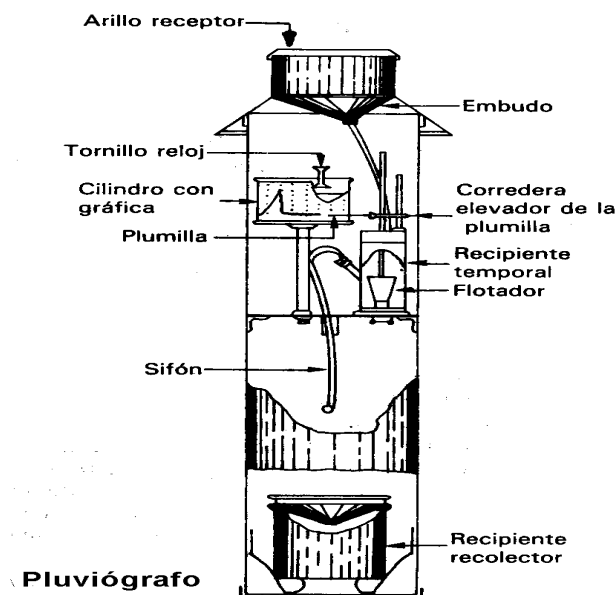


Fig. 2 Pluviómetro de flotador.

Para que el aparato haga un registro que cubra un período apropiado (por lo general se requiere como mínimo 24 horas), es necesario que el recipiente en el que se encuentra el flotador sea muy grande (en cuyo caso se obtiene una escala reducida en el diagrama) o que se disponga de algún medio automático para vaciar el recipiente cada vez que está lleno; la pluma regresa de este modo a la parte inferior del diagrama.

Por lo general, esto se logra con un sifón, que se dispara en un momento determinado para evitar que el agua se desborde, al principio o al final de la operación, la cual no debe exceder los 15 segundos.

En algunos instrumentos, la cámara que contiene el flotador está sobre cuchilla, para que bascule una vez llena. La agitación del agua contribuye al funcionamiento del sifón, y la cámara, una vez vacía, vuelve a su posición original.

Otros pluviómetros registradores están provistos de un sifón a presión que realiza la operación en menos de cinco segundos, en tanto que otros tipos tienen una pequeña cámara auxiliar en la que se recoge la lluvia que cae durante la operación, y se vacía en la cámara principal una vez que el sifón deja de funcionar, asegurándose así un registro adecuado de la precipitación total.

Si existe el peligro de que se produzcan heladas durante el invierno, deberá instalarse dentro del pluviómetro algún dispositivo de calefacción. De este modo, se impedirá que el agua, al congelarse, dañe el flotador y la cámara del flotador, y podrá registrar la lluvia durante ese período.

Pluviómetro de cazoletas.

El principio de este tipo de pluviómetro registrador es muy simple. Un recipiente de metal liviano, dividido en dos compartimientos, se coloca en equilibrio inestable sobre un eje horizontal; en su posición normal, el recipiente reposa sobre uno de sus topes, lo que impide que se vuelque completamente. El agua de lluvia es transferida desde un embudo colector ordinario al compartimiento superior; una vez recogido un determinado volumen de lluvia, la cubeta pierde estabilidad y se inclina hacia su segunda posición de reposo.

Los compartimientos del recipiente son de forma tal que el agua puede salir entonces del compartimiento superior que ha vuelto a su posición.

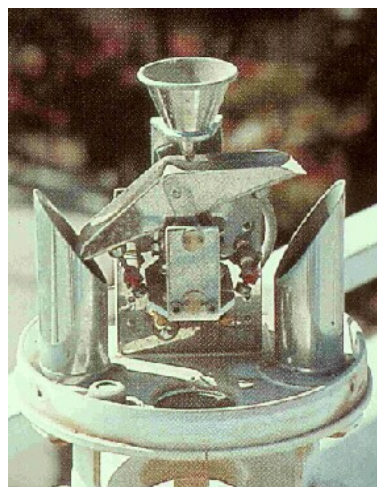


Fig. 3 Pluviómetro de cazoletas.

El movimiento de la cubeta al volcarse puede utilizarse para accionar un relé de contacto y originar un registro en forma de trazos discontinuos; la distancia entre cada trazo representa el tiempo requerido para la recolección de una pequeña cantidad de lluvia. Si se quieren registros detallados, esta cantidad de lluvia no debe exceder de 0,2 mm. Para mucho propósitos hidrológicos, en particular para regiones de precipitaciones abundantes y para los sistemas de prevención de inundaciones son satisfactorias cubetas de 0,5 y 1,0 mm.

La principal ventaja de este tipo de instrumento es que posee un generador de pulsos electrónicos y puede adaptarse para el registro simultáneo de las lluvias y del nivel de un río en un limnógrafo.

Sus inconvenientes son:

- La cubeta toma un tiempo reducido, pero determinado, para bascular y durante la primera mitad de su movimiento la lluvia cae en el compartimiento que contiene la lluvia que ya se ha contabilizado. Este error sólo es perceptible en el caso de fuertes precipitaciones.
- Con el tipo de cubeta que se utiliza con frecuencia, la superficie del agua expuesta es relativamente importante y, por consiguiente, se pueden producir pérdidas por evaporación, en especial en regiones cálidas. Esto reviste mayor importancia si las lluvias son escasas.
- Debido a la irregularidad del registro, este instrumento no da resultados satisfactorios con ligeras lloviznas o lluvias finas. En este caso no pueden determinarse con exactitud el momento en que comienzan o acaban las precipitaciones.

Objetivos.

Dada la simplicidad en el mecanismo del pluviómetro de cazoletas se ha optado por elegir este mecanismo para la construcción del pluviómetro. Tenemos que tener en cuenta que este tipo de pluviómetro pierde fiabilidad en caso de precipitaciones de gran intensidad, como es el caso de tormentas, en cambio es fiable para precipitaciones continuas. Se trata de un pluviómetro adecuado para las características de lluvia que podemos tener en la Comarca de Pamplona.

Se quiere construir un pluviómetro que sea práctico y resistente a los golpes y a las inclemencias climatológicas, y minimizar en lo posible los errores de medida y desajustes que pueda tener el pluviómetro.

3. Características pluviómetro a construir.

La boca del embudo va a tener una supeficie de 200 cm^2 . La mayoría de pluviómetros comerciales adoptan esta medida, aunque es una medida que carece de importancia; lo más práctico es tener una superficie de recepción de 200 a 500 cm^2 , aunque en algunos países se utiliza un área de 1000 cm^2 .

Se quiere diseñar un pluviómetro con una resolución de 0,2 mm; como se ha mencionado anteriormente esta es la resolución mínima que recomienda la O.M.M. (Organización Metereológica Mundial) en su guía de Practicás Hidrológicas. Además la mayoría de pluviómetros que podemos encontrar en el mercado tienen esta resolución.

Los pluviómetros de cazoletas emplean un relé switch para la detección del volteo de las cazoletas. El relé se activa cuando la bobina se excita, y cierra los contactos que están alojados en un tubo de vidrio al vacío. La bobina se excita con el volteo del balancín, sobre el cual está alojado un imán permanente.

Para simplificar el diseño del balancín se ha optado por utilizar otro sistema de conteo de vuelcos del balancín. Se quiere implantar en el pluviómetro dos detectores de posición, para detectar el movimiento de las dos cazoletas.

Los detectores de posición están ampliamente difundidos en la industria, en este caso utilizaremos un dispositivo optoelectrónico. Se trata de una barrera infrarroja, en la cual entre el emisor y el receptor se establece un haz de luz que en función de la longitud de onda, puede ser infrarrojo, visible, ultravioleta...

4. Las precipitaciones en la Comarca de Pamplona.

Por su emplazamiento en la Zona Media, la ciudad de Pamplona tiene un clima de transición entre el oceánico y el mediterráneo. El cielo en Pamplona presenta abundante nubosidad, de manera que el año tiene una media de 300 día nublado y cubiertos.

Las precipitaciones líquidas se miden en l/m^2 o en mm, un 1mm equivale a un $1l/m^2$, un 1 mm de precipitación es la caída de 1l de precipitación en un área de 1 metro cuadrado.

La descomposición del volumen precipitado en los siguientes grupos de intensidad nos da una idea de la naturaleza de la lluvia en la Comarca de Pamplona a lo largo de un año. El siguiente cuadro se ha realizado con los datos recogidos en un periodo de 25 años, entre 1949 y 1973.

| | Enero | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Año |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 mm | 4,02 | 3,78 | 4,88 | 3,58 | 4,02 | 4,12 | 7,22 | 3,04 | 2,93 | 2,05 | 3,43 | 2,51 | 3,61 |
| 2-4mm | 12,17 | 13,16 | 19,73 | 13,92 | 15,54 | 12,27 | 12,19 | 13,28 | 14,85 | 14,85 | 9,23 | 11,07 | 13,42 |
| 5-9mm | 25,21 | 33,28 | 28,76 | 30,53 | 29 | 22,38 | 29,35 | 21,44 | 23,98 | 20,73 | 22,82 | 22,58 | 25,83 |
| 10-19mm | 32,06 | 32,53 | 33,7 | 32,74 | 25,61 | 34,17 | 38,83 | 30,01 | 31,22 | 23,44 | 27,41 | 32,53 | 30,8 |
| 20-49mm | 21,99 | 17,25 | 12,93 | 19,23 | 25,83 | 22 | 12,41 | 20,89 | 20,24 | 38,93 | 33,27 | 24,62 | 23,2 |
| 50mm | 3,95 | | | | | | | 11,34 | 7,4 | | 3,84 | 6,69 | 3,14 |

Como podemos observar las precipitaciones en los extremos son escasas y el mayor volumen se concentra entre 5-49mm.

5. Cálculos eléctricos.

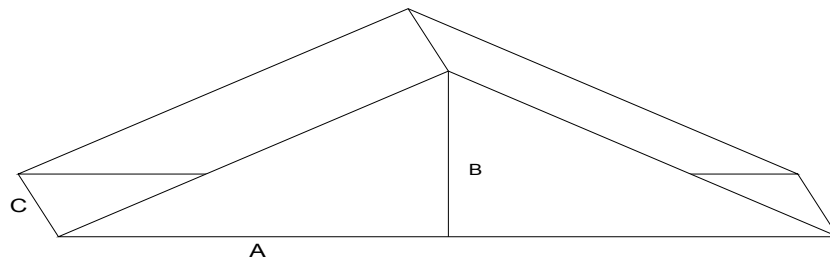


Fig.4 Dibujo de las cazoletas a diseñar.

Cálculo del peso del agua.

Las dimensiones A,C, y B, corresponden a las dimensiones de largura, ancho y altura de la cazoleta respectivamente.

El pluviómetro va a tener una resolución de $0,2 \text{ l./m}^2$, es decir, 0,2 l será la precipitación mínima de agua que puede detectar el pluviómetro. La superficie del embudo es de 200 cm^2 , por tanto para obtener una resolución de 0,2 l, sobre la superficie de 200 cm^2 el volumen de agua que caerá será de:

$$200 \text{ cm}^2 \frac{1 \text{ m}^2}{(100 \text{ cm})^2} = 0,02 \text{ m}^2 \quad \frac{0,2 \text{ l.}}{\text{m}^2} 0,002 \text{ m}^2 = 0,004 \text{ l} = 4 \text{ ml}$$

Tenemos que conseguir que el balancín pivote cuando caiga 4 ml de agua, la fuerza que ejerza el agua será:

$$F_{\text{agua}} = m \cdot g = 0,004 \cdot 10 = 0,04 \text{ N}$$

El problema se puede simplificar a un problema de dos dimensiones, ya que sobre el rodamiento solo se ejercen fuerzas radiales.

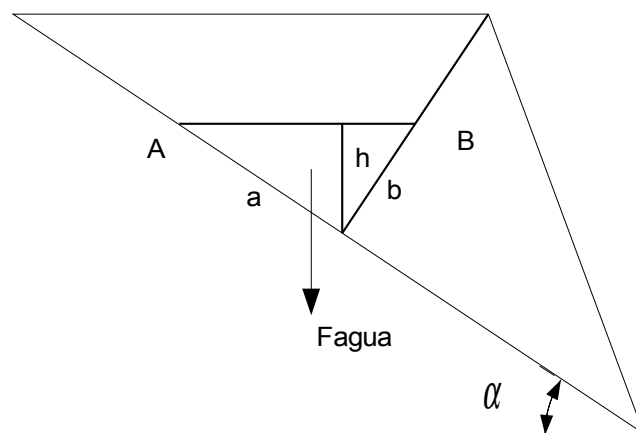


Fig.5 Representación de la fuerza del agua en el balancín.

El agua forma un prisma triangular sobre la cazoleta, cuyo volumen es:

$$V_{\text{agua}} = \frac{a \cdot b \cdot C}{2}$$

a y b corresponden a los lados del triángulo que forma el agua en reposo, C corresponde a la anchura de la cazoleta.

Hallamos la relación entre los lados a y b, como forman un triángulo rectangular hallamos que:

$$\text{sen } \alpha = \frac{h}{a} \quad h = \text{sen } \alpha \cdot a$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{h}{b} \quad b = \frac{h}{\text{cos } \alpha} = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha} a = \text{tg } \alpha \cdot a$$

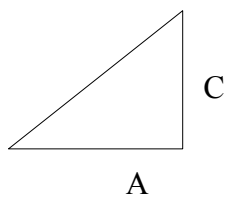
Comos sabemos que el volumen de agua son 4ml sustituimos:

$$4 \cdot 10^{-6} = \frac{a \cdot b \cdot C}{2}; \quad 8 \cdot 10^{-6} = a \cdot b \cdot C; \quad 8 \cdot 10^{-6} = a^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot C;$$

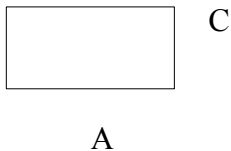
$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-6}}{C \cdot \operatorname{tg} \alpha}}$$

Cálculo del peso de las piezas del balancín.

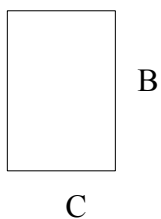
Para hallar el peso de cada pieza del balancín, hallamos el volumen de cada pieza para un espesor de 1mm.



$$V_1 = \frac{A \cdot B \cdot 0,001}{2} = 5 \cdot 10^{-4} AB m^3$$



$$V_2 = A \cdot C \cdot 0,001 = 1 \cdot 10^{-3} AC m^3$$



$$V_3 = \frac{B \cdot C \cdot 0,001}{2} = 5 \cdot 10^{-4} BC m^3$$

Sabemos que la densidad de un material es $\rho = \frac{M}{V}$. Para el aluminio la densidad es de 2700 kg/m^3 . La masa para cada pieza será la siguiente:

$$M_1 = \rho \cdot V = 2700 \cdot 5 \cdot 10^{-4} A \cdot B = 1,35 AB \text{ Kg}.$$

$$M_1 = \rho \cdot V = 2700 \cdot 1 \cdot 10^{-3} A \cdot C = 2,7 AC \text{ Kg.}$$

$$M_1 = \rho \cdot V = 2700 \cdot 5 \cdot 10^{-4} B \cdot C = 1,35 BC \text{ kg}$$

Multiplicando cada masa por la constante de gravedad obtenemos la fuerza que ejerce cada pieza.

$$F_1 = 1,35 AB \cdot 10 = 13,5 AB \text{ N}$$

$$F_2 = 2,7 AC \cdot 10 = 27 AC \text{ N}$$

$$F_3 = 1,35 BC \cdot 10 = 13,5 BC \text{ N}$$

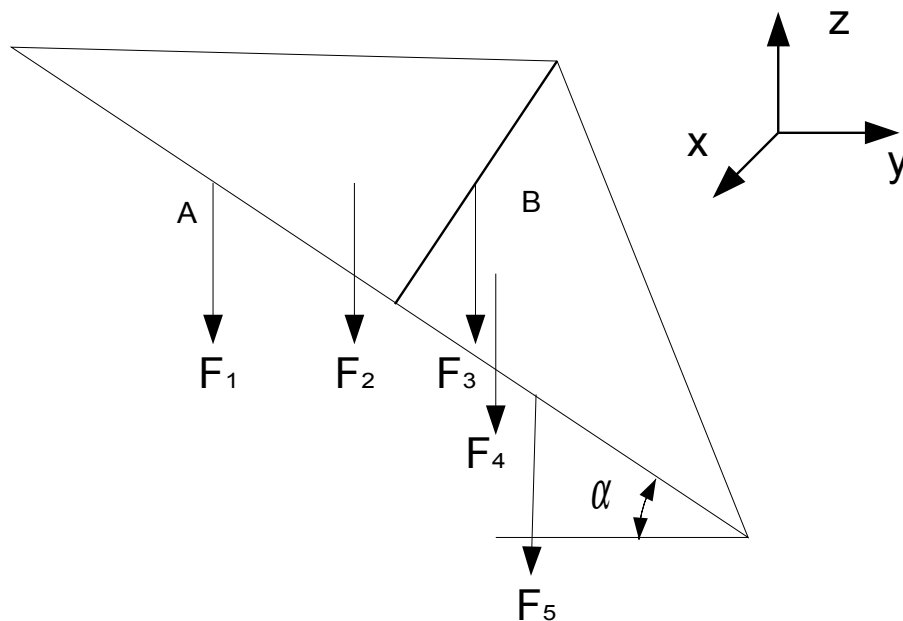


Fig. 6 Representación de las fuerzas en el balancín.

Cálculo del momento de fuerzas en el balancín.

Aplicamos $\sum M_0 = 0$

$$\begin{aligned}
 & -F_2 \cos(\alpha) \frac{A}{2} - 2F_1 \left(\cos(\alpha) \frac{A}{3} - \sin(\alpha) \frac{B}{3} \right) + F_3 \cdot \sin(\alpha) \frac{B}{2} + 2 \cdot F_4 \left(\cos(\alpha) \frac{A}{3} + \sin(\alpha) \frac{B}{3} \right) \\
 & + F_5 \cdot \cos(\alpha) \frac{A}{2} - F_{agua} \left(\cos(\alpha) \frac{a}{3} - \sin(\alpha) \frac{b}{3} \right) = 0
 \end{aligned}$$

Sabemos que $F_1 = F_5$ y $F_2 = F_4$ simplificamos y nos queda que:

$$4 \cdot F_1 \cdot \sin(\alpha) \frac{B}{3} + F_3 \cdot \sin(\alpha) \frac{B}{2} - \frac{F_{agua}}{3} (\cos(\alpha) \cdot a - \sin(\alpha) \cdot b) = 0$$

Fijamos un ancho para las cazoletas de 2 cm. y un ángulo de 30° para la inclinación de cazoletas, $C = 0,02$ m y $\alpha = 30^\circ$

Sustituimos en $a = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-6}}{C \cdot \tan \alpha}}$ y $b = \tan(\alpha) a$ y obtenemos los valores de a y b, que son lados del triángulo que forma el agua en reposo.

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-6}}{C \cdot \tan \alpha}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-6}}{0,02 \cdot \tan(30)}} = 0,02623 \text{ m.}$$

$$b = \tan(\alpha) a = \tan(30) \cdot 0,02623 = 0,0152 \text{ m.}$$

Sustituimos y nos queda que:

$$4 \cdot 13,5 \cdot AB \cdot 0,5 \frac{B}{3} + 13,5 \cdot BC \cdot 0,5 \frac{B}{2} - 2,025 \cdot 10^{-4} = 0$$

Fijamos para A una longitud de 50 mm, y sustituimos en la función:

$$4 \cdot F_1 \cdot AB \cdot 0,5 \frac{B}{3} + 13,5 \cdot AB \cdot 0,5 \frac{B}{2} + 2,025 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$9 \cdot AB^2 + 3,375 \cdot B^2 \cdot C - 2,025 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$0,45 \cdot B^2 + 0,0675 \cdot B^2 - 2,025 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$0,5175 \cdot B^2 = 2,025 \cdot 10^{-4}$$

$$B = 0,019 \text{ m.} = 190 \text{ mm.} \quad \text{longitud del lado B}$$

2. Cálculo dispositivo electrónico.

Para contabilizar los vuelcos que da el balancín, se ha utilizado un dispositivo optoelectrónico. Se trata de implementar un sensor infrarrojo de barrera, las barreras tipo emisor-receptor, están compuestas de dos partes, un componente que emite el haz de luz, un diodo led y otro componente que lo recibe, un fotodiodo.

El diodo para que emita luz debe estar polarizado en directa, en función del material que este hecho el led, emitirá un color y una longitud de onda determinada, en nuestro caso un led infrarrojo, que se caracteriza por estar compuesto por Arseniuro de galio (GaAs) y tener una longitud de onda de 940 nm.

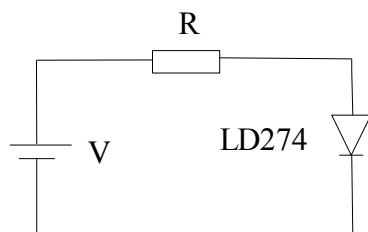
Debido a que el modo de operación de esta clase de sensores se basa en la interrupción del haz de luz, la detección no se ve afectada por el color, la textura o el brillo del objeto a detectar. Estos sensores operan de una manera precisa cuando el emisor y el receptor se encuentran alineados. Una aplicación muy común es su utilización en ascensores.

El fotodiodo es un semiconductor que tiene la propiedad de cambiar la corriente que circula a través de él, de acuerdo a la cantidad de luz que incida su área fotosensible.

Los leds tienen un bajo consumo de energía, son relativamente inmunes a la luz ambiente artificial, sin embargo ante una gran fuente de luz como es el sol, el circuito no serviría, ya que el fotodiodo es sensible a luz del sol. En nuestro caso el circuito no va expuesto a la luz del sol ya que esta protegido por un tubo que hace también de soporte para el embudo.

El circuito de polarización del diodo esta compuesto por una resistencia en serie para limitar la corriente que pasa por el diodo, para que el diodo este polarizado en directa tiene que haber una caída de tensión de 1,3 V.

Calculamos la resistencia de limitación de la corriente, fijamos una corriente de 50 mA, muy por debajo de la máxima corriente que puede circular por el diodo, 100 mA.



$$R = \frac{V - V_D}{I} = \frac{15 - 1,3}{50 \cdot 10^{-3}} = 274 \Omega$$

Al colocar la resistencia R en serie con diodo, tenemos que tener en cuenta la potencia de disipación de la misma, ya que sino la quemaremos. La potencia disipada por una resistencia se puede calcular por la formula siguiente: $P = R \cdot I^2$

Si tenemos una corriente de 50 mA , la potencia de disipación es

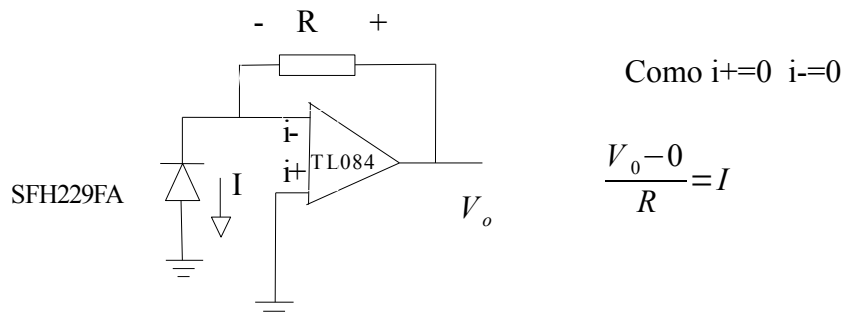
$P = 274 \cdot 0,05^2 = 0,648 \text{ W}$, no hay problema de que se funda ya que la potencia de disipación de la resistencia es de 1W.

La potencia de disipación de las resistencia varía con su tamaño, así cuanto mayor sea la superficie de una resistencia más contacto tiene con el aire y mayor será su poder de disipación.

En la práctica la resistencia R se ha aumentado hasta 1000Ω , ya que el led se fundía. Aumentando la resistencia hacemos que disminuya la corriente del circuito. La resistencia 1000Ω tiene una potencia de disipación de 2W.

El fotodiodo se polariza en inversa. Cuando sea excitado por la luz infrarroja circulara una corriente I , el fotodiodo funciona como un contacto abierto. Cuando no pase luz funcionará como un contacto cerrado.

Tendremos una tensión de salida $V_o = I \cdot R$. Se trata de la configuración de un convertidor corriente tensión basado en un amplificador operacional, siguiendo la siguiente configuración:



Colocando a la salida del operacional un osciloscopio, vamos probando diferentes resistencias hasta que a la salida del osciloscopio tengamos 3V aproximadamente.

A continuación del circuito convertidor intensidad tensión, colocamos un disparador schmitt trigger, para acondicionar la señal a la lógica TTL. Un circuito schmitt trigger cambia su estado de salida cuando la tensión en su entrada sobrepasa un determinado nivel; la salida no vuelve a cambiar cuando la entrada baja de ese voltaje, sino que el nivel de tensión para el cambio es otro distinto, más bajo que el primero. A este efecto se conoce como histeresis.

La resistencia R se ha ajustado hasta obtener 3V aproximadamente, que es la tensión a partir la cual el trigger pasa de nivel alto a nivel bajo, es decir, de 5V a 0V.

Cuando la cazoleta corte la barrera infrarroja tendremos a la salida del operacional 3V aproximadamente, con lo que la salida del trigger irá a 0V. Cuando la cazoleta deje de cortar la barrera, la salida del trigger irá a 5V.

Tenemos dos señales de impulsos que se ponen a 0 y a 5V alternativamente, cuando la señal de un sensor este a 0, la señal del otro sensor estará a 5V, y viceversa. Para obtener la información de todos los impulsos que den los dos sensores, implementamos un circuito digital, formado por una puerta NOT, SN74LS04N, y una puerta XOR, T74LS86B1.

Para el registro de pulsos necesitaríamos diseñar un sistema de adquisición de datos, compuesto por un data logger y un microcontrolador que controle el sistema y almacene los datos con la fecha y hora.

El procedimiento general para desarrollar proyectos con microcontroladores, se puede resumir de la siguiente manera:

Se parte del diseño del hardware y de la forma como el micro interactuará con él para desarrollar las tareas; se monta y se evalúa el correcto funcionamiento de cada componente, luego se digita el programa, se ensambla a través de un compilador y corrigen los posibles errores sintácticos.

A la hora de elegir el microcontralador son varios los aspectos a tener en cuenta, como son, la literatura de referencia, programadores, emuladores, sistemas de desarrollo, compiladores.

Aunque esto queda fuera del alcance de este proyecto, en nuestro caso para la lectura de los impulsos emplearemos un osciloscopio.

En la siguiente figura se observa el diodo led a la izquierda y el fotodiodo a la derecha:

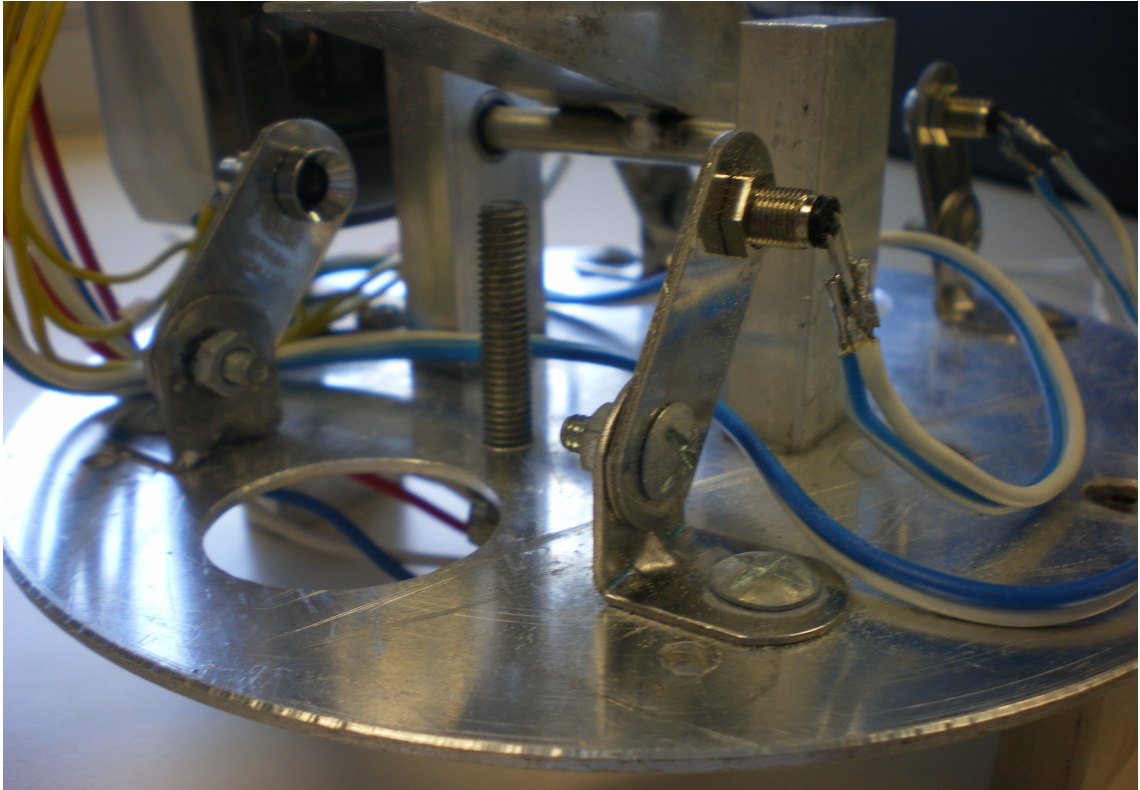


Fig. 7 Detalle barrera infrarroja

4. Desarrollo del trabajo.

Después de obtener las dimensiones de la cazoleta, se procedió a su construcción. El material ha de ser resistente a la corrosión, por lo que se puede utilizar acero galvanizado, aluminio, plástico...

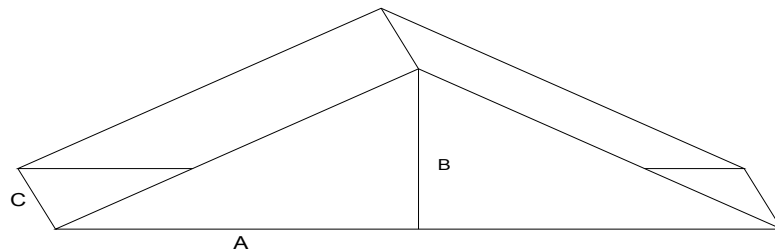


Fig. 8 Cazoletas del pluviómetro.

En un principio se optó por comprar chapa de acero galvanizado de espesor muy fino, de 0,5 mm. El recubrimiento galvanizado le da al acero una excelente protección frente a la abrasión y la corrosión.

Se quería hacer dos piezas, como las que se ven en la figura 7, y unir las mediante adhesivo epoxy. Este tipo de adhesivo es usado para pegar metales, produce uniones medio rígidas con excelente resistencia al impacto y la vibración.

Se desechó la idea ya que a pesar de que la chapa es ligera, es difícil manipularla manualmente. La gran resistencia mecánica del acero hace difícil poder doblar la chapa y obtener las dos piezas.

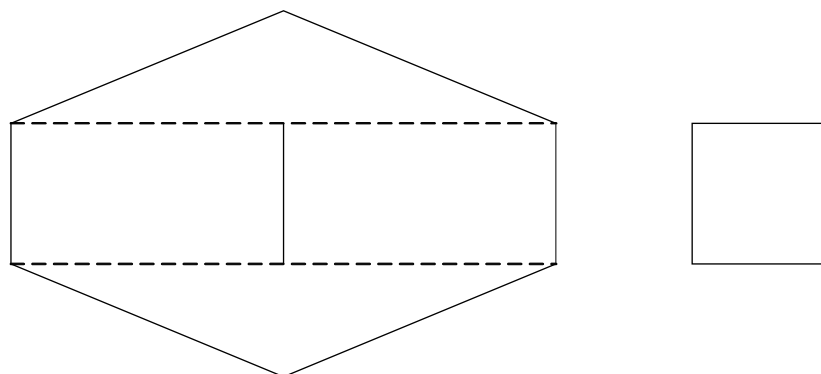


fig. 9 Despiece de la cazoleta.

Finalmente se acudió a un taller donde poder mecanizar la pieza en aluminio, utilizando el torno y la fresadora.

Utilizando el torno se mecanizó el eje , rebajando los extremos del eje 5 mm para poder encajar sobre los rodamientos y asentaran perfectamente. La cazoleta se mecanizó en aluminio, con un espesor mínimo de 1 mm. Además el eje y soportes donde encajan los rodamientos se mecanizaron en aluminio, ya que no se puede soldar aluminio con otro material distinto que no sea el aluminio.



Fig. 12 Detalle de los soportes de las cazoletas.

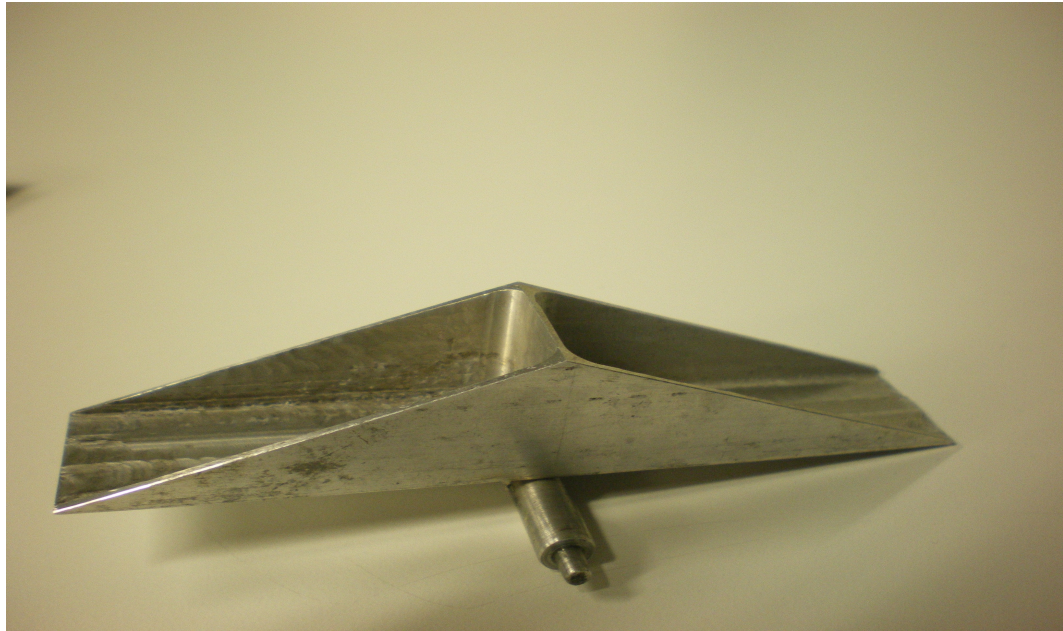


Fig. 13 Detalle de las cazoletas.

Un inconveniente importante del aluminio a la hora de su soldadura, es la rapidez y facilidad que tiene para oxidarse al contacto con oxígeno. Formando en la superficie de la pieza una capa de óxido de aluminio, denominada alúmina. Esta capa, que es muy dura y compacta, se adhiere fuertemente a la superficie del aluminio, evitando que continúe oxidándose el resto de la pieza, además tiene una temperatura de fusión (2000°C) mucho más elevada que la del aluminio (660°C).

Esta temperatura de fusión tan elevada es un grave inconveniente para la obtención de soldaduras correctas, ya que para conseguir fundir la alúmina se necesitaría mucha mayor energía, problema que se soluciona limpiando la superficie a unir inmediatamente antes de soldar, con un cepillo de alambre de acero inoxidable, eliminado así el óxido de aluminio.

La soldadura se realizó mediante TIG, se trata de un procedimiento de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible; utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que salta entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando es necesario, se aplica a través de varillas como en la soldadura oxiacetilénica.

La soldadura por sistema TIG es más resistente, dúctil y segura contra la corrosión que

las realizadas por sistemas usuales.

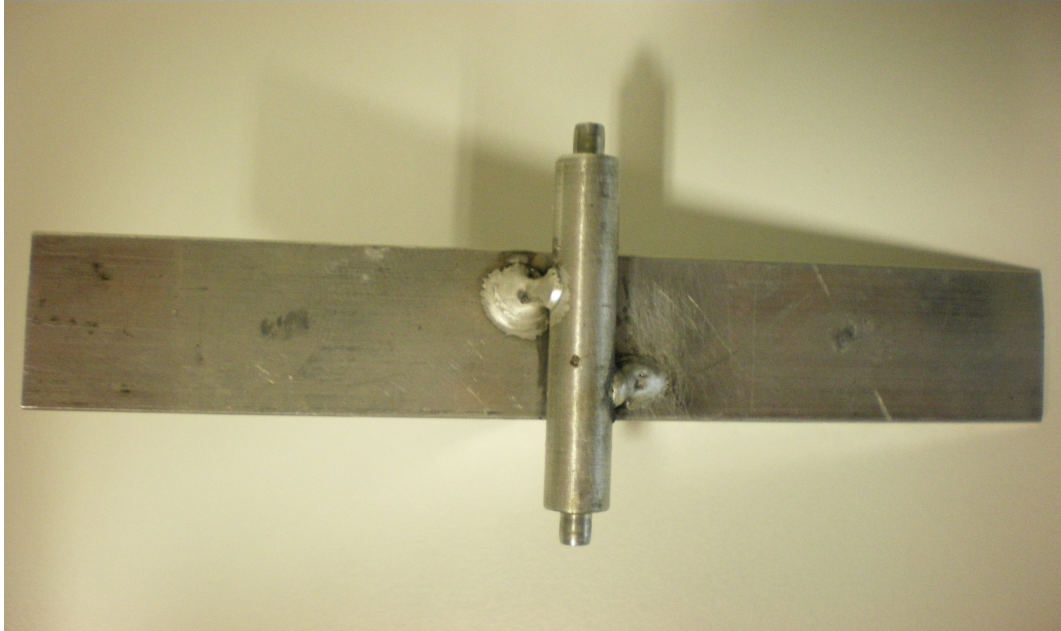


Fig. 14 Detalle de la soldadura.

El eje se realizó con un diámetro suficiente para que pudiera ser soldado a las cazoletas. El eje está soldado en el eje de gravedad de las cazoletas.

Tanto los soportes del eje, como los soportes de los sensores están atornillados a la base del pluviómetro por simplicidad, y para facilitar la calibración y funcionamiento del pluviómetro.

Los ejes descansan sobre dos rodamientos SKF 623.

7. Análisis de resultados.

Emplazamiento pluviómetro.

En el siguiente texto se explicarán las condiciones de emplazamiento de un pluviómetro según las recomendaciones adoptadas por la O.M.M (Organización Meteorológica Mundial).

En una instalación ideal, el agua recogida en un pluviómetro representará las precipitaciones que se hayan producido en la zona circundante. Sin embargo, en la práctica es difícil crear estas condiciones debido a los efectos del emplazamiento. Los efectos del viento se pueden considerar desde dos aspectos: efectos sobre el instrumento mismo, que en general reducen la cantidad de agua recogida, y efectos del emplazamiento sobre la trayectoria del viento, a menudo más importantes y pueden dar resultados superiores o inferiores de la precipitación medida.

El pluviómetro se expone con su boca en posición horizontal sobre el nivel del suelo. Si el emplazamiento lo permite, el pluviómetro deberá estar protegido del viento en todas las direcciones por objetos (árboles, arbustos, etc.), cuya altura sea lo más uniforme posible. La altura de estos objetos sobre la boca del pluviómetro deberá ser por lo menos la mitad de la distancia que existe entre el instrumento y los objetos (para proporcionarle una protección adecuada del impacto del viento), pero no deberá exceder la distancia existente entre el pluviómetro y los objetos (para evitar la intercepción de parte de la lluvia que llega al pluviómetro). La situación ideal es tener ángulos de 30° y 45° entre la cima del pluviómetro y la de los objetos circundante.

Deben evitarse, como protección para el pluviómetro, objetos como rompevientos consistentes en una hilera de árboles, pues tienden a aumentar la turbulencia en el sitio del pluviómetro. Cuando no sea posible garantizar una protección adecuada contra el viento, es mejor suprimir todos los obstáculos situados a una distancia del instrumento igual a cuatro veces sus respectivas alturas.

El terreno circundante puede estar cubierto de césped, grava, o ripio, pero una superficie plana y dura como la de cemento origina salpicaduras excesivas. La boca del pluviómetro debe hallarse lo más baja posible con relación al suelo (la velocidad del viento aumenta con la altura), pero ha de estar al mismo tiempo lo suficientemente elevada para evitar que el agua que cae al suelo salpique al pluviómetro. En las regiones donde la nieve es escasa y donde no hay peligro de que las inmediaciones del pluviómetro estén cubiertas por charcos de agua, incluso en caso de lluvias intensas, se recomienda una altura normalizada de un metro.

En lugares expuestos, en los que no se dispone de una protección natural, se ha observado que se pueden obtener mejores resultados, al medir las precipitaciones líquidas, si el pluviómetro se instala en un pozo, de modo que su borde esté a nivel del suelo.

El pozo se cubre con una rejilla antisalpicaduras, de plástico fuerte o metal, con una abertura central para el embudo del pluviómetro.

Otro medio de modificar las inmediaciones del pluviómetro consiste en disponer pantallas apropiadas en torno al instrumento. Cuando están bien concebidas, estas pantallas permiten obtener resultados mucho más representativos que los que se consiguen con los pluviómetros no protegidos, totalmente expuestos al viento. La protección ideal debe:

- asegurar un flujo de aire paralelo a la boca del pluviómetro;
- evitar toda aceleración local del viento sobre la boca del pluviómetro;
- reducir en lo posible la velocidad del viento que azota lateralmente el pluviómetro; en estas condiciones, la altura de la boca del pluviómetro por encima del suelo reviste mucha menos importancia;
- evitar toda salpicadura en dirección de la boca del pluviómetro; en estas condiciones, la altura de la boca del pluviómetro por encima del suelo reviste mucha menos importancia;
- evitar que la nieve obstruya la boca del pluviómetro.

Medición en el laboratorio .

Aunque los cálculos se realizaron para que la cazoleta pivotara cuando recogiera un volumen de agua de 4ml, sabemos que ningún instrumento es absolutamente preciso. Es necesario estimar la desviación del valor medido con respecto al valor real.

Mediante los tornillos de regulación ajustamos la inclinación de las cazoletas, hasta que el balancín pivote cuando caigan 4ml de agua aproximadamente.

Para calcular la precisión del aparato, en el laboratorio se midió con una jeringuilla milimetrada el volumen para el cual las cazoletas pivotan. Se realizaron cincuenta medidas en las mismas condiciones, y se anotaron la medidas.

La dispersión viene dada por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

| Datos (ml.) | | Datos (ml.) | |
|--------------------------|-----|-------------|-----|
| 1 | 4,2 | 20 | 4 |
| 2 | 4 | 21 | 4,6 |
| 3 | 4,6 | 22 | 4,4 |
| 4 | 4,4 | 23 | 4 |
| 5 | 4 | 24 | 4 |
| 6 | 4 | 25 | 4 |
| 7 | 4,4 | 26 | 4,4 |
| 8 | 4,6 | 27 | 4 |
| 9 | 4 | 28 | 4 |
| 10 | 4,3 | 29 | 4,4 |
| 11 | 4,2 | 30 | 4,2 |
| 12 | 4,3 | 31 | 4 |
| 13 | 4 | 32 | 4 |
| 14 | 4 | 33 | 4 |
| 15 | 4 | 34 | 4 |
| 16 | 4,2 | 35 | 4 |
| 17 | 4 | 36 | 4 |
| 18 | 4,6 | 37 | 4,4 |
| 19 | 4,2 | 38 | 4,2 |
| | | 39 | 4,4 |
| | | 40 | 4,4 |
| | | 41 | 4,2 |
| Media | | 4,17 | |
| Desviacion típica | | 0,21 | |

Como la resolución de la jeringa es de 0,2 ml, la desviación típica se redondea a 0,2 ml, por tanto podemos decir, que las cazoletas pivotaran cuando recojan un volumen de agua entre 3,8 y 4,2 ml, la precisión del aparato es de $\frac{0,2}{4} \cdot 100 = \pm 5\%$

A continuación se exponen las hojas de características de dos pluviómetros, cuyo sistema de conteo se basa en el rele reed. Como podemos observar la precisión varía entre 1% y 3%. La precisión de nuestro aparato queda por debajo de los aparatos comerciales. Aunque queda dentro de los niveles aconsejados por la Organización Meteorológica Mundial.

| PLUVIOMETRO | |
|-----------------------------------|--|
| Principio de medida | Cazoletas basculantes de 0.2 mm (balancín) |
| Apertura | 400 cm ² |
| Resolución | 0.2 mm |
| Precisión | +/- 1% |
| Temperatura funcionamiento | 1º C a 85º C |
| Dimensiones | 340 x 240 mm. Ø |

Fig. 13 Especificaciones técnicas pluviómetro comercial.

| Características | |
|------------------------|---|
| ✓ | TAMAÑO 18 cm de diámetro x 30cm de altura |
| ✓ | SUPERFÍCIE RECEPCIÓN 200 cm ² |
| ✓ | RESOLUCIÓN 0.1mm por vuelco |
| ✓ | PRECISIÓN 2% hasta 25mm/hora 3% hasta 50mm/hora |
| ✓ | SALIDA Relé reed magnético, tasa normal de apertura de 24V ac/dc, 500mA |

Fig. 15 Especificaciones técnicas pluviómetro comercial.

| | |
|---|---|
| Precipitación (cantidad y forma) | 3-7% |
| Intensidad de la lluvia | 1 mm/h |
| Espesor de nieve (puntual) | 1 cm debajo de 20 cm o 10% sobre 20 cm |
| Contenido de agua en la nieve | 2,5-10% |
| Evaporación (puntual) | 2-5%, 0,5 mm |
| Velocidad del viento | 0,5 m/s |
| Nivel del agua | 10-20 mm |
| Altura de ola | 10% |
| Profundidad del agua | 0,1 m, 2% |
| Anchura de la superficie del agua | 0,5% |
| Velocidad de la corriente | 2-5% |
| Caudal | 5% |
| Concentración de sedimento suspendido | 10% |
| Transporte de sedimento suspendido | 10% |
| Transporte de carga de fondo | 25% |
| Temperatura del agua | 0,1-0,5°C |
| Oxígeno disuelto (temperatura del agua superior a 10°C) | 3% |
| Turbidez | 5-10% |
| Color | 5% |
| pH | 0,05-0,1 unidad de pH |
| Conductividad eléctrica | 5% |
| Espesor de hielo | 1-2 cm, 5% |
| Capa de hielo | 5% para $\geq 20 \text{ kg/m}^3$ |
| Humedad del suelo | 1 $\text{kg/m}^3 \geq 20 \text{ kg/m}^3$ |

Fig. 16 Exactitud recomendada en las mediciones hidrológicas.

Mediciones en un jardín con un aspersor.

Con objeto de comprobar la exactitud del aparato con agua de lluvia, se simuló el agua de lluvia, empleando un aspersor utilizado para regar jardines. Se trata de comparar los datos del aparato con el pluviómetro de mano, para lo cual se colocan lo más cerca posible el uno del otro, como se ve en la figura 16, para intentar que en ambos pluviómetros caiga la misma cantidad de agua.



Fig 17 Pluviómetro de jardín junto al pluviómetro.

Para colocar el pluviómetro en el jardín hace falta que el pluviómetro este nivelado, para lo cual colocamos un nivel como se puede ver en la figura 18. Para contabilizar los pulsos utilizamos un osciloscopio.



Fig. 18Detalle nivelado del pluviómetro.

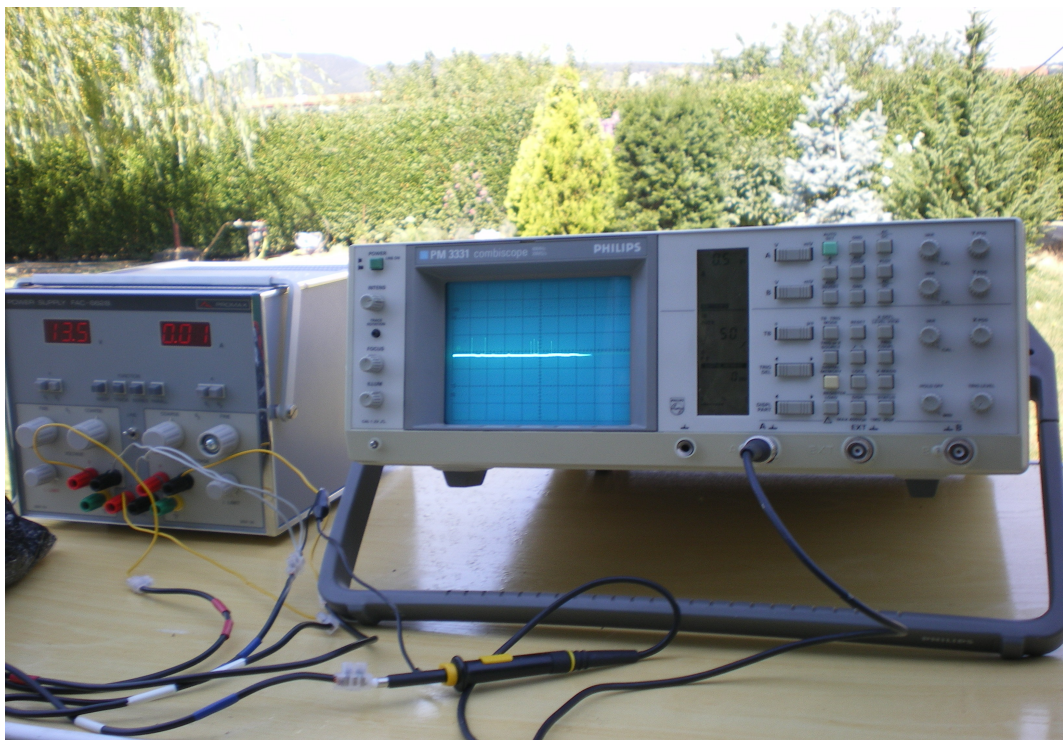


Fig. 19 Osciloscopio para lectura de los pulsos

La medición del pluviómetro de cazoletas y del pluviómetro de mano fueron muy dispares, debido a que la lluvia que crea el aspersor es muy desigual.

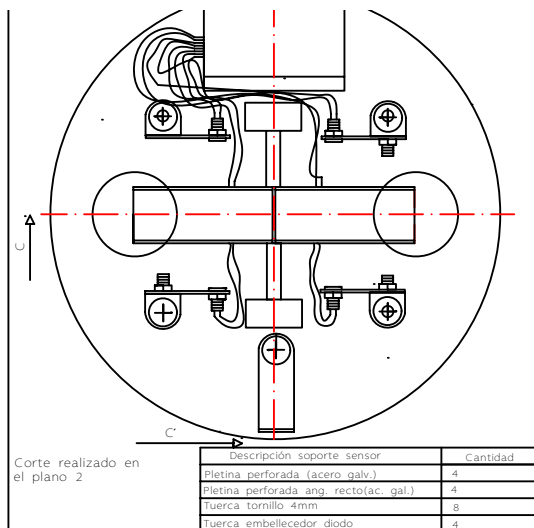
9. Conclusiones.

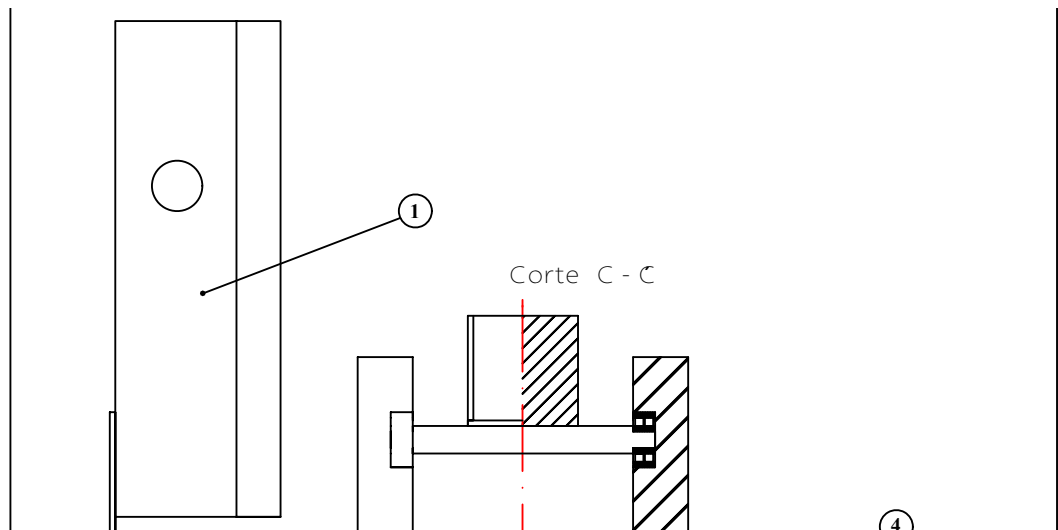
Podemos decir que la barrera infrarroja es perfectamente valida para el conteo de vuelcos del balancín, aunque exige una perfecta alineación de la misma.

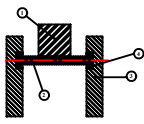
El balancín se ha calculado para que pivotara cuando tuviera una inclinación de 30° , en la práctica observamos que no es así, mediante los tornillos de regulación modificamos la inclinación del balancín, de esta forma modificamos el momento de fuerza que ejerce el agua en el balancín.

Cuanto más inclinación tenga el balancín, el agua ejercerá menos momento de fuerza, y la cazoleta tendrá que recoger más agua; en cambio cuanto menos inclinación tenga, el agua ejercerá más momento de fuerza, y menos agua tendrá que recoger para que pivote.


Aunque si modificamos demasiado el angulo de inclinación, descentramos las cazoletas respecto al embudo, consiguiendo que el agua se vierta en las dos cazoletas.







| Nº | Descripción | Unidad | Cantidad |
|----|-----------------|--------|----------|
| 1 | Caja | 1 | 1 |
| 2 | Soporte lateral | 1 | 1 |
| 3 | Soporte lateral | 1 | 1 |

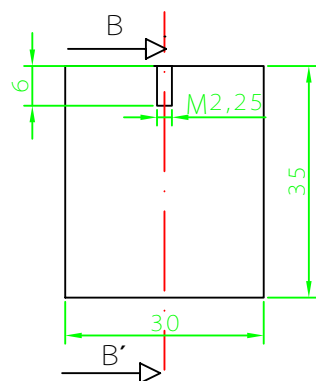


Universidad Pública de Navarra

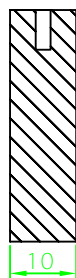
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

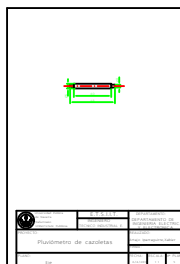
INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL 2

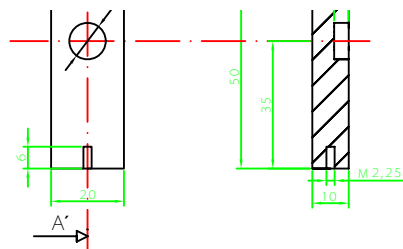
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



Corte B - B'





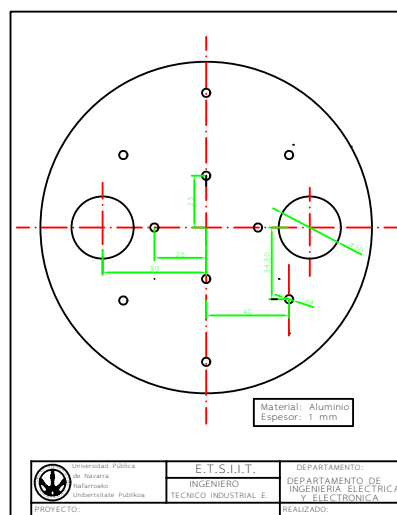


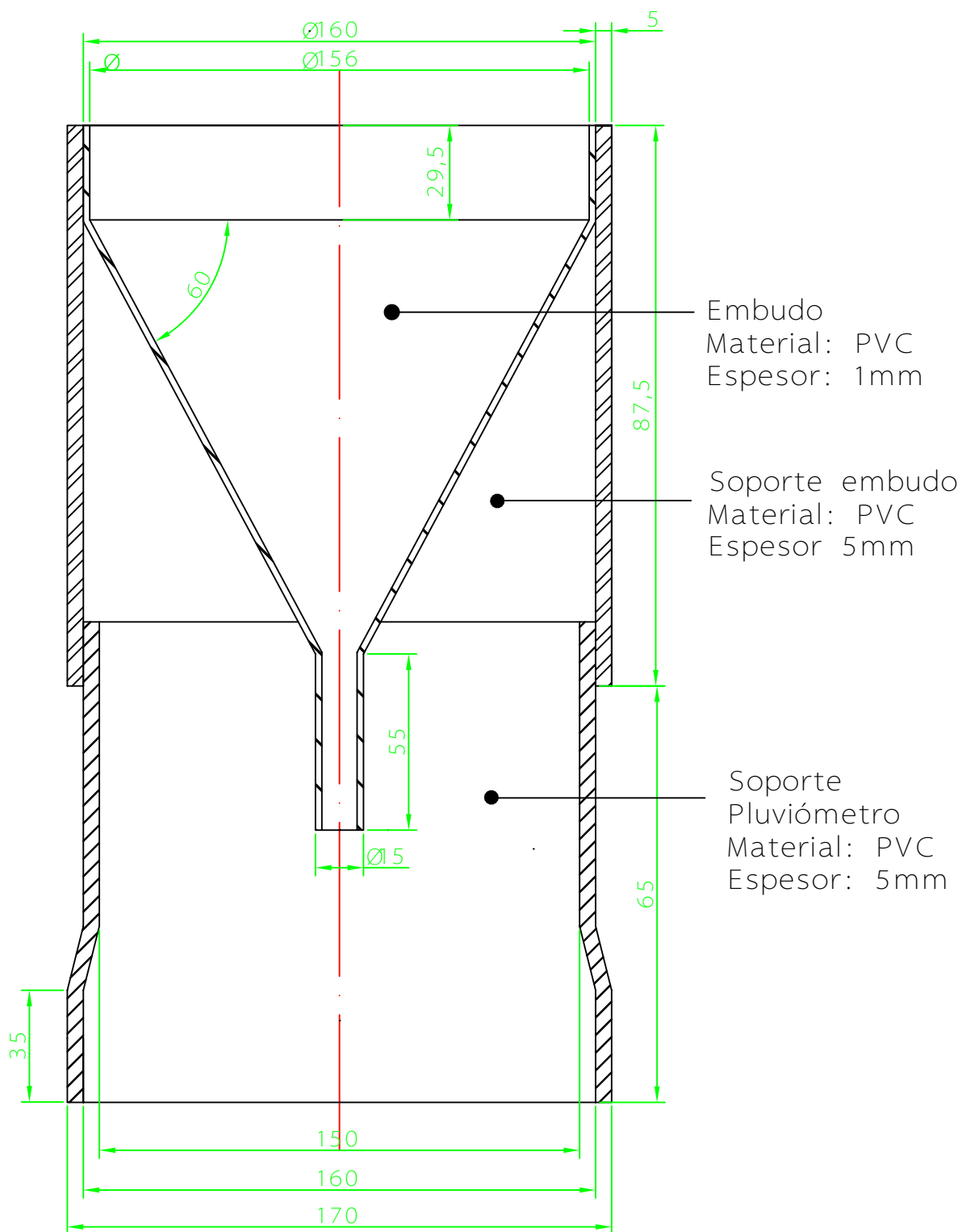
Universidad Pública
de Navarra

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO:







Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERO
TECNICO INDUSTRIAL E.

DEPARTAMENTO:

DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA ELECTRICA
Y ELECTRONICA

PROYECTO:

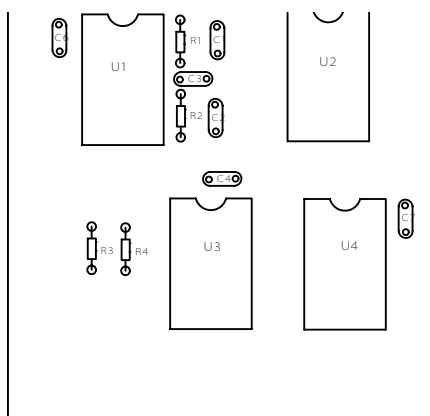
Pluviómetro de cazoletas

REALIZADO:

Artajo Iparraguirre,Xabier

FIRMA:





U2: Circuito integrado HEF40106
 U3: Circuito integrado SN74LS04N
 U4: Circuito integrado T74LS86B1
 R1: Resistencia 562kΩ 0,5W
 verde - azul - rojo - naranja
 R2: Resistencia 562kΩ 0,5W
 verde - azul - rojo - naranja
 C1: Capacitor ceramico 470pF
 C2: Capacitor ceramico 470pF
 C3: Capacitor multicapa 220nF
 C4: Capacitor multicapa 220nF
 C5: Capacitor multicapa 220nF
 C6: Capacitor multicapa 220nF
 C7: Capacitor multicapa 220nF
 R3: Resistencia 1kΩ 2W
 marron - negro - rojo

PLUVIÓMETRO DE CAZOLETAS



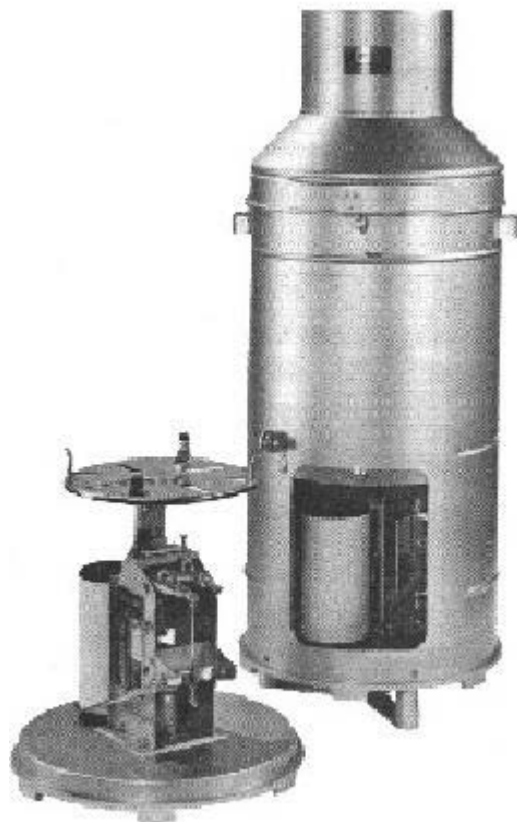
Formación de la precipitaciones



- La evaporación (zonas húmedas y cálidas).
- Las montañas son factores que favorecen la lluvia.
- El choque de aire caliente y frío.

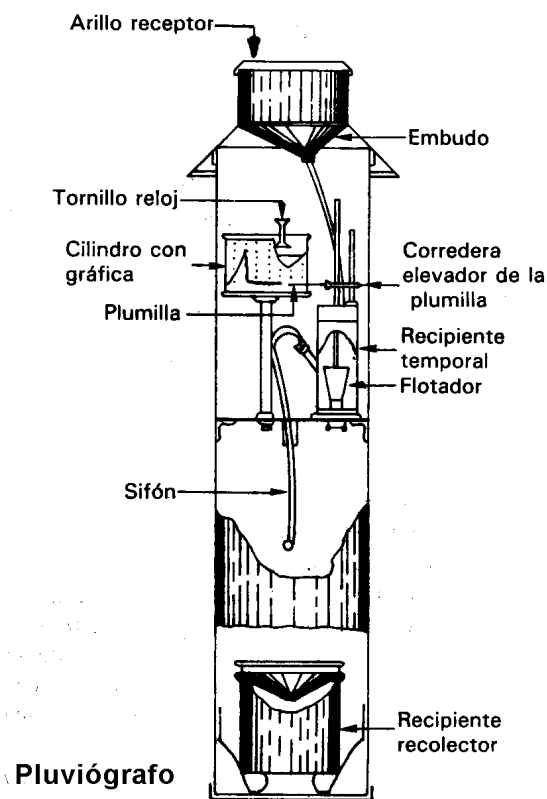
Tipos de pluviómetro:

- de pesada



- No tiene dispositivo de autovaciado.
- Se debe diseñar tal que se puedan minimizar las pérdidas por evaporación.
- Le afecta el viento en gran medida al pluviómetro.

Tipos de pluviómetro: - de flotador



- Necesita sistema de calefacción en invierno para que no se forme hielo.
- Requiere de un recipiente grande si se quieren medir precipitaciones a lo largo de 24 horas.
- No tiene sistema de autovaciado.

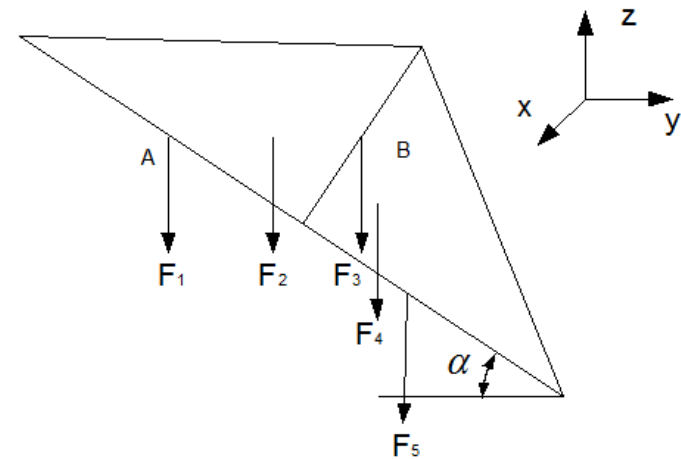
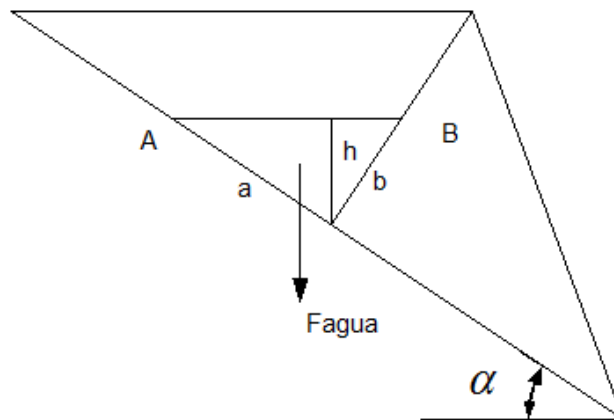
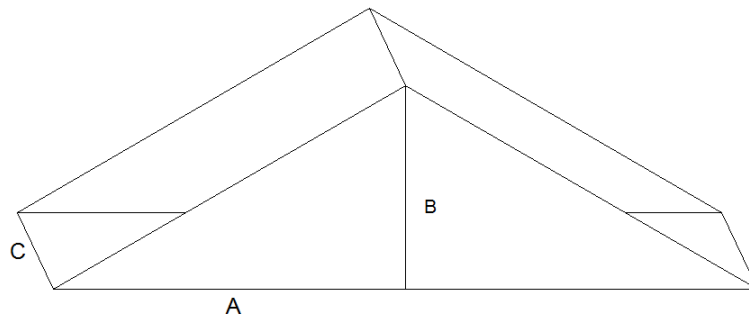
Tipos de pluviómetro:

- de cazoletas



- Se trata de un sistema simple.
- Por el propio funcionamiento del pluviómetro, el agua se autovacia.
- Posee un generador de pulsos electrónicos.

Representación de las fuerza en el balancin



Criterios que se han seguido en la construcción de la cazoleta.

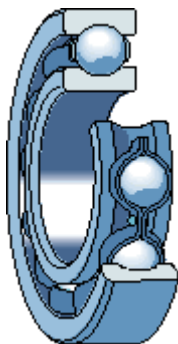
Minimizar las soldaduras

Evitar desajustes

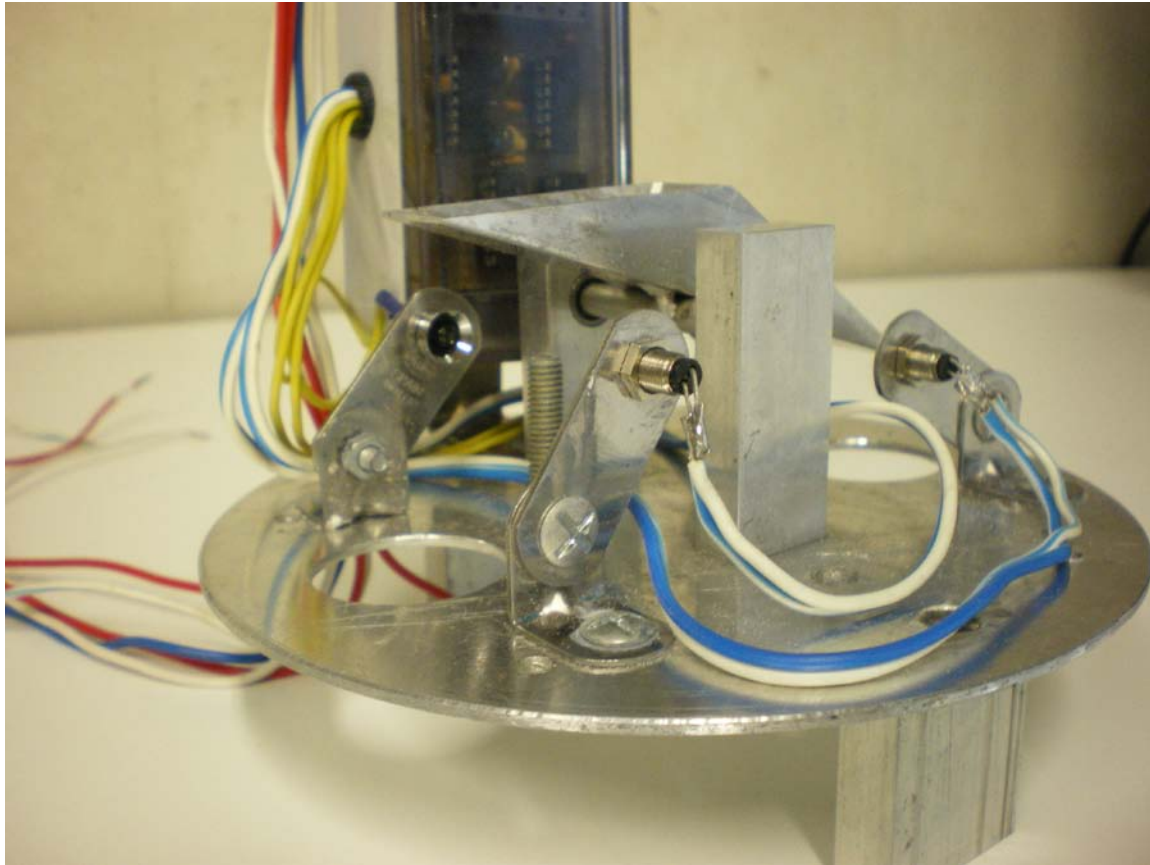
Resistente a los golpes

Fácil de calibrar

Detalle balancín



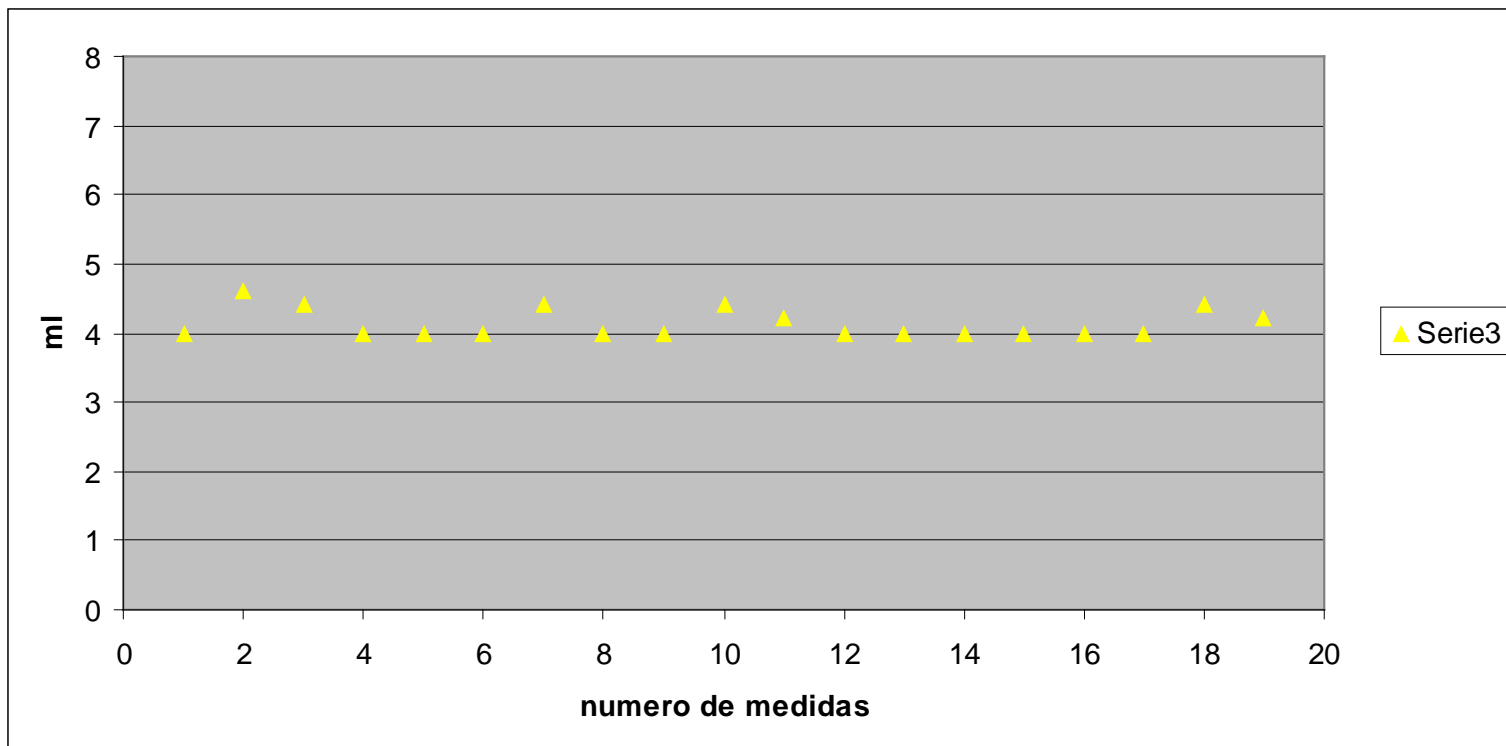
Detalle diodo y fotodiodo



Soporte del pluviómetro



Gráfica con los datos obtenidos en el laboratorio



Estación meteorológica compuesta por un pluviómetro, anemometro e higrometro.

